

# ANÁLISE DA TRANSFERÊNCIA METÁLICA DO ARAME TUBULAR E409Ti EM COMPARAÇÃO AO ARAME SÓLIDO ER309L.

**Temístocles de Sousa Luz**

Rua João XXIII, 765 – CEP 38408-056, Santa Maria, Uberlândia-MG, [tsluz@mecanica.ufu.br](mailto:tsluz@mecanica.ufu.br)

**Carlos Eduardo Aguiar Lima Rodrigues**

LAPROSOLDA. Campus Santa Mônica, Bloco 1O, Uberlândia MG, [ceduardo@mecanica.ufu.br](mailto:ceduardo@mecanica.ufu.br)

**Jesualdo Pereira Farias**

ENGESOLDA. Campus do Pici s/n, Bloco 715 Fortaleza, CE, [jpf@truenet-ce.com.br](mailto:jpf@truenet-ce.com.br)

**Valtair Antonio Ferraresi**

LAPROSOLDA. Campus Santa Mônica, Bloco 1O, Uberlândia MG, [valtairf@mecanica.ufu.br](mailto:valtairf@mecanica.ufu.br)

**Resumo:** *O entendimento dos modos de transferência metálica na soldagem, atualmente tem proporcionado um grande desenvolvimento de técnicas e processos de união de materiais. Através desse entendimento é possível proporcionar, durante a soldagem, um melhor controle do processo além da automação com mais eficiência. Muitos dados se têm a respeito dos modos de transferência metálica na soldagem MIG/MAG com arames sólidos. O entendimento a esse nível se faz oportuno para o processo com arame tubular, através da identificação mais detalhada dos modos de transferência que ocorrem durante a soldagem do mesmo. Buscou-se então o levantamento do mapa de transferência metálica para o arame tubular comercial Tubrod 410Ti e comparou-se com o mapa de transferência para o arame comercial ER 309L, verificando assim, as principais diferenciações nos modos de transferência entre os dois processos. Utilizou-se para tanto um sistema de filmagem de alta velocidade agregado a um sistema de laser e filtros para proporcionar a aquisição apenas da sombra do sistema projetado pelo laser emitido (shadowgrafia). Com isso, pode-se avaliar com maiores detalhes os modos de transferência deste tipo de consumível em relação aos modos verificados na soldagem MIG/MAG com arame sólido.*

**Palavras-Chave:** *Transferência metálica, soldagem, arame tubular.*

## 1. INTRODUÇÃO

Vários métodos experimentais têm sido empregados para o aprimoramento do estudo da transferência metálica, visando assim o maior controle do processo de soldagem. Para tanto, busca-se mapear os modos de transferência que ocorrem durante a soldagem. O mapeamento dos modos de transferência metálica visa estabelecer os contornos da transferência em termos de variáveis de soldagem, tais como, tensão e/ou comprimento do arco, corrente e/ou velocidade de alimentação. A transferência metálica pode ser determinada por métodos, tais como, nível de respingo, som do arco, sistema de imagem a laser através do arco, inspeção visual direta do arco, grau de luminosidade do arco e aquisição de dados referentes ao sinal do arco. Os quatro primeiros métodos não são disponíveis para controle automático, sendo normalmente usados para auxiliar a identificação dos modos e confirmar a interpretação dos sinais elétricos sobre a faixa dos mapas.

Nos casos onde os modos de transferência se sobrepõem significativamente, os dados audiovisuais são utilizados para melhor definir os contornos dos mapas de transferência (Lin et al, 2000).

Ultimamente os métodos visuais desenvolveram-se de forma a possibilitar um maior detalhamento dos fenômenos que ocorrem na transferência metálica. Os principais métodos ópticos de análise envolvem a filmagem em alta velocidade e a técnica da sombra através do feixe de um laser (“shadowing techniques”). Com altas velocidades de filmagem ( $10^2$  quadros por segundo ou maior), as propriedades dinâmicas da gota, formação e destacamento, podem ser gravadas e observadas com maiores detalhes (Lin et al, 2000).

Então, é objetivo deste trabalho o estudo mais detalhado dos modos de transferência metálica que ocorrem na fusão de um arame tubular comercial, fazendo uma correlação entre os modos observados nesse consumível e os observados em consumíveis sólidos.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

O material de base empregado foi chapa de aço inoxidável P410D, cuja composição, segundo o fabricante, é 0,018%C, 0,63%Mn, 0,5%Si, 10,8%Cr e 0,35%Ni. As chapas testes foram confeccionadas em dimensões de 200 mm x 40 mm x 4 mm. As soldagens de simples deposição, na posição plana, foram realizadas empregando-se velocidades de alimentação de 1,5 a 12,5 m/min e tensões de referência de 18 a 32V. Foi empregado um sistema automático de soldagem, utilizando-se de uma mesa atrelada a um fuso, o qual, devido um controle de velocidade, pode estabelecer a velocidade de soldagem adequada aos experimentos realizados. Utilizou-se para a soldagem uma fonte multiprocesso INVERSAL 450, no modo tensão constante, na polaridade positiva (cc+). Utilizou-se como material de adição os arames AWS ER309L de 1,2 mm de diâmetro com composição de metal depositado, segundo o fabricante, de 0,03%C; 0,30 a 0,65%Si, 1,00 a 2,50%Mn; 0,02%P; 0,015%S; 23,0 a 25,0%Cr 12,0 a 14,0%Ni e o arame tubular comercial TUBROD 409Ti com, diâmetro de 1,2 mm. Sua composição de metal depositado, segundo o fabricante, é de 0,05%C; 0,60%Si; 0,70%Mn; 11,0%Cr e 1,0%Ti. Para a proteção do arco e da poça de fusão utilizou-se o gás de proteção comercial com composição de Ar + 3%CO<sub>2</sub> + 4%N<sub>2</sub> para o arame AWS ER309L e Ar + 5% O<sub>2</sub> para o arame tubular TUBROD 409Ti, utilizado-se uma vazão de 14 l/min. A distância-bico-de-contato-peça (DBCP) foi mantida em 18 mm, com a tocha perpendicular à chapa. As filmagens em alta velocidade foram realizadas a 2000 quadros por segundo, utilizando um feixe colimado de laser e um conjunto óptico composto por lentes e filtros de densidade neutra, aplicando-se a técnica da shadowgrafia. A observação, mensuração e caracterização da transferência metálica foram feitas com o auxílio de softwares específicos (Maia, 2001).

## **3. RESULTADO E DISCUSSÃO**

Durante a visualização das soldagens, diversos modos de transferência puderam ser observados, levando em consideração o trabalho realizado por Scotti (1998, 2000).

Nas Figuras 1 e 2 apresentam-se os mapas de transferência metálica levantados para o arame sólido e o arame tubular, respectivamente. Através desses mapas pode-se verificar a evolução dos modos de transferência através da variação do valor de tensão para uma dada corrente de soldagem. Pode-se observar que o zoneamento das regiões distintas dos modos de transferência não é de todo simples. Embora se observe a distinção das regiões, as fronteiras não são bem definidas, existindo em muitos casos a sobreposição dessas zonas. Nesta sobreposição, no limiar entre uma zona e outra, podem coexistir diversos modos de transferência.

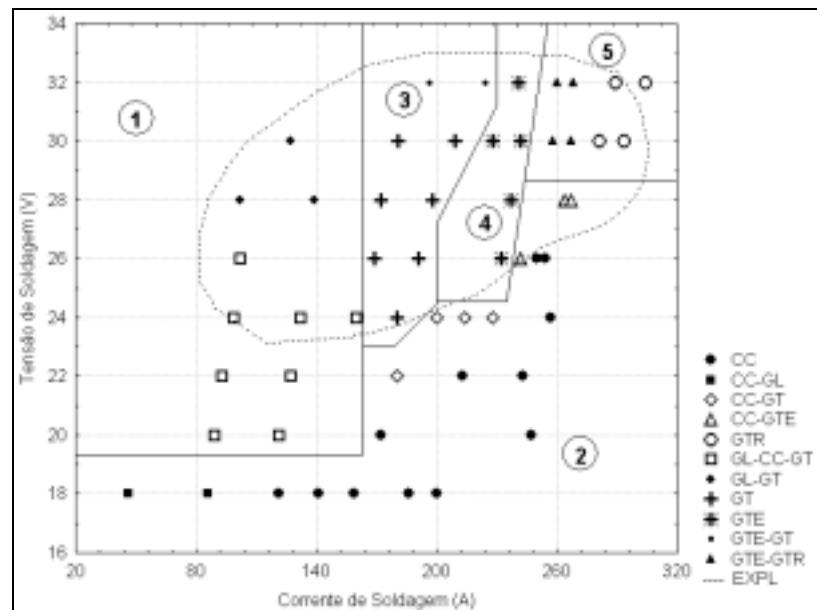


Figura 1 – Mapa de transferência para o arame ER309L.

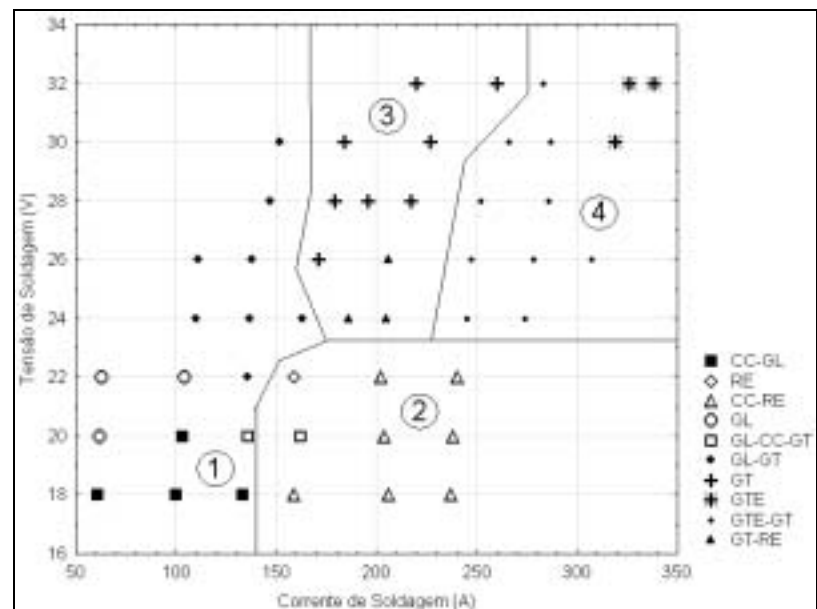


Figura 2 – Mapa de transferência para o arame TUBROD 409Ti.

Cada uma das zonas definidas refere-se a um modo de transferência predominante. Assim, tem-se para o mapa do arame sólido (Fig. 1): zona globular (1), zona de curto-circuito (2), zona goticular (3), zona goticular com alongamento (4) e zona rotacional (5). Ainda na Fig. 1, a região pontilhada refere-se à uma zona de incidência de explosões. No mapa do arame tubular (Fig. 2) tem-se: zona globular (1), zona de curto-circuito (2), zona goticular (3) e zona goticular com alongamento (4). Nas fronteiras de ambos os mapas, existe a possibilidade da ocorrência simultânea de até três modos de transferência metálica, caracterizando os modos mistos. Muito embora seja observada uma maior incidência de explosões no arame tubular, verifica-se que seus modos de transferência são mais definidos que os do arame sólido, apresentando zonas maiores e com menos pontos de modos mistos (Fig. 2). A seguir faz-se uma descrição comparativa dos principais modos de transferência metálica observados.

**Transferência Globular (GL):** Este modo caracteriza-se pela geração de gotas em diâmetros superiores ao diâmetro do eletrodo, como pode ser observado na Fig. (3).

Esta mesma figura mostra esse modo ocorrendo com o arame tubular, à tensão de 18 V e corrente de soldagem de 64 A. Salienta-se uma grande instabilidade no decorrer da formação da gota para esse consumível, provavelmente em decorrência da presença do fluxo interno ao eletrodo. Este modo de transferência metálica não foi observado para o arame sólido nestes experimentos.

Mesmo para níveis similares de corrente e tensão, verificou-se para o arame sólido uma formação muito maior da gota gerada, certamente em função de sua maior viscosidade o qual gerou o aparecimento de curtos-circuitos (Fig. 4). Para a soldagem com o arame tubular, este comportamento só foi observado em correntes de soldagem a partir de 110 A, uma vez que houve uma redução significativa no comprimento do arco com um aumento na velocidade de alimentação do eletrodo. É provável que essa condição represente uma equivalência entre as taxas de fusão mássicas dos dois tipos de eletrodos.

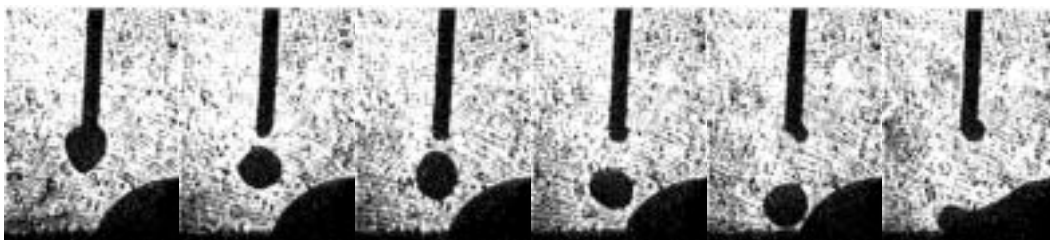


Figura 3 – Transferência Globular observada no arame tubular.

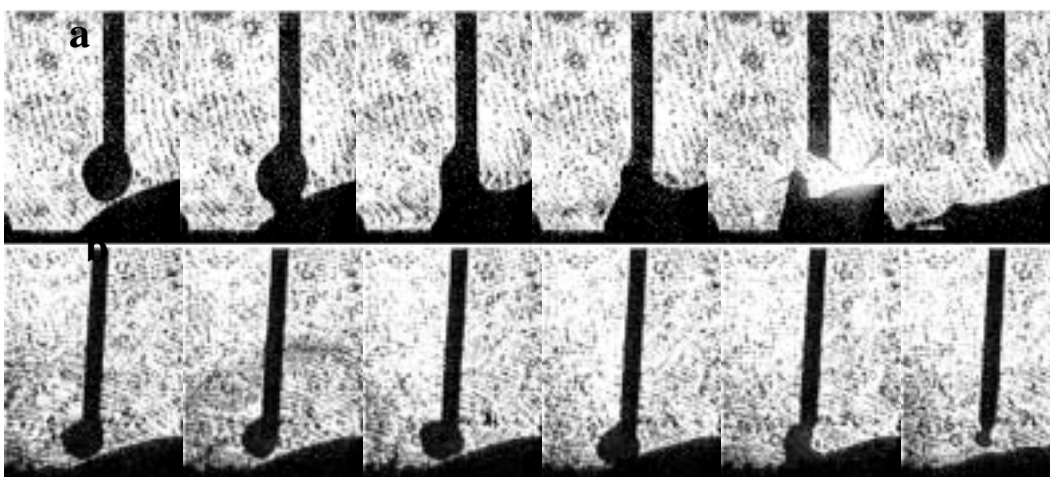


Figura 4 – Transferência Globular/Curto-circuito: (a) arame sólido; (b) arame tubular.

Transferência por **Curto-circuito (CC)** – nesse tipo de transferência as gotas destacam-se do eletrodo por efeito da tensão superficial (Fig. 5). Este modo só foi observado para níveis de tensão entre 18 e 26 volts, para os dois tipos de consumíveis e em correntes de até 250 A para o arame sólido e valores superiores a 300 A para o arame tubular. Pode-se observar que as gotas não chegam a crescer demasiadamente, transferindo-se antes de atingirem diâmetro maior que o diâmetro do arame eletrodo.

Transferência **Goticular (GT)** – o destacamento das gotas ocorre antes que estas atinjam diâmetro superior ao diâmetro do eletrodo. Dependendo do nível de corrente a extremidade livre do eletrodo poderá tornar-se afunilada durante a formação das gotas, no entanto o comprimento desse afunilamento não ultrapassa o diâmetro do eletrodo (Fig. 6). A taxa de transferência é normalmente maior do que em curto-circuito. Verifica-se que os níveis de tensão em que este ocorre está na faixa de 24 a 30 volts. Observa-se que o nível de tensão é elevado bem como o comprimento de arco visível (Fig. 6), levando-se em consideração a ponta do eletrodo livre e a poça de fusão. Salienta-se que a zona de ocorrência desse modo de transferência é maior no mapa do arame tubular, englobando correntes de 140 a 270A, o que denota que pequenas variações na corrente de soldagem



não representarão grandes efeitos no modo de transferência metálica na zona correspondente à transferência goticular.

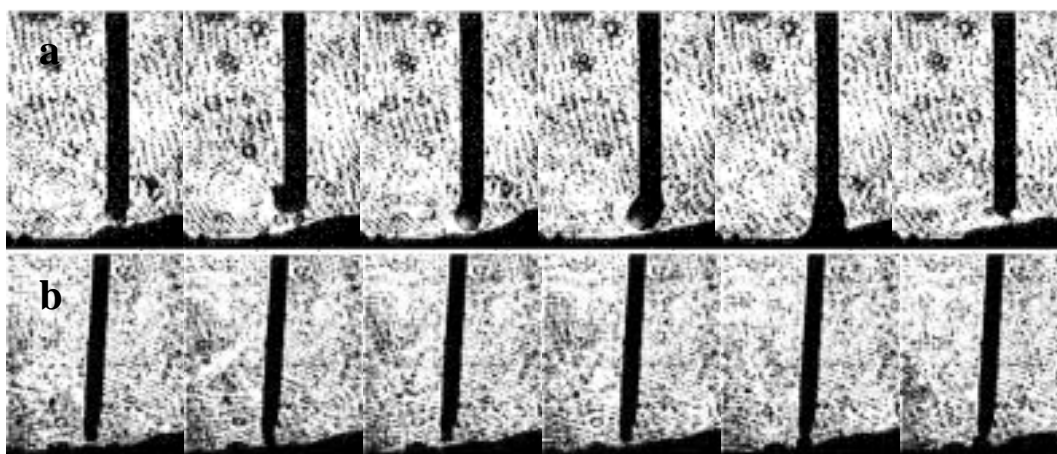


Figura 5 – Transferência por curto-circuito: (a) arame sólido; (b) arame tubular.

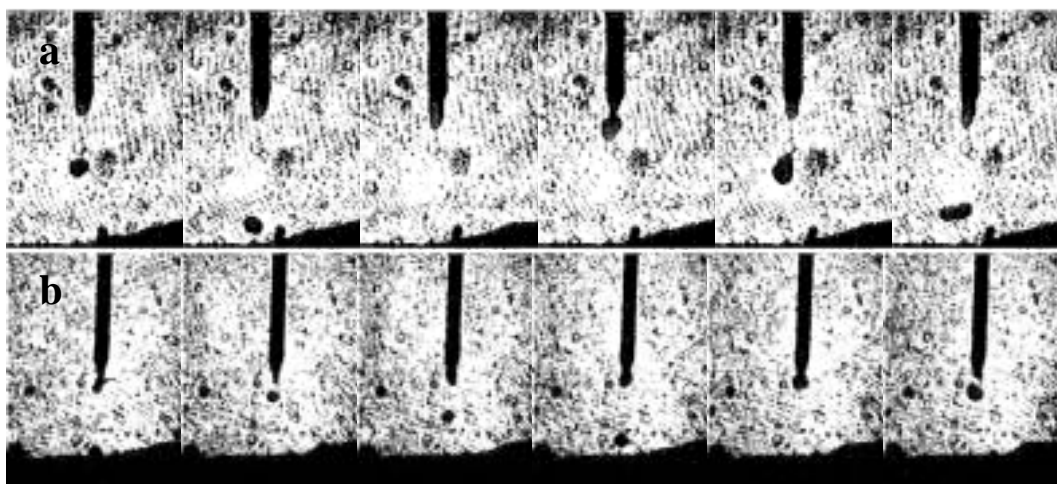


Figura 6 – Transferência Goticular: (a) arame sólido; (b) arame tubular.

Transferência **Goticular com alongamento (GTE)** é um modo de transferência no qual as gotas são também destacadas antes de atingirem o diâmetro do eletrodo. As gotas são lançadas da extremidade de uma ponta do eletrodo alongada (afunilada), cujo comprimento é maior do que o diâmetro do eletrodo (Fig. 7). Este modo de transferência ocorre a níveis de corrente bastante elevados, geralmente para valores acima de 220 A no arame sólido, e de 280 A no arame tubular. Verifica-se também que os níveis de tensão também são elevados, acima de 26 V para os dois tipos de consumíveis.

Como foi citado, durante a evolução dos parâmetros observam-se diversos modos atuando em conjunto, ou seja, modos mistos de transferência metálica. Dentre esses modos mistos observados na soldagem com ambos os consumíveis, podem ser enumerados os seguintes modos:

Transferência **Globular/Goticular (GL-GT)** – nesse modo de transferência, em função do maior nível de tensão, conseqüentemente maior comprimento de arco, o crescimento da gota metálica acontece até que esta se transfira para poça de fusão por vôo livre. Após sua transferência processa-se a formação de gotas menores a uma maior frequência até que se estabeleça um maior comprimento de arame livre e reinicie-se o ciclo com a geração de uma gota maior. Este fato é atribuído à oscilação da corrente entre valores abaixo e acima da corrente de transição. A Fig. 8 retrata esse comportamento, tanto para o eletrodo sólido (a) quanto para o eletrodo tubular (b). Na Fig. 8a a sequência mostra a transferência de uma gota com um diâmetro superior ao observado na Fig. 8b. Tal fato poderá estar correlacionado com as propriedades do metal fundido, já que no

segundo caso, o mesmo sofre influências do fluxo interno, além da maior densidade de corrente observada no arame tubular. Isso pode proporcionar uma redução na viscosidade do metal líquido, visto que as situações observadas nessas figuras retratam condições similares de soldagem (28 a 30V e 130 a 140A).

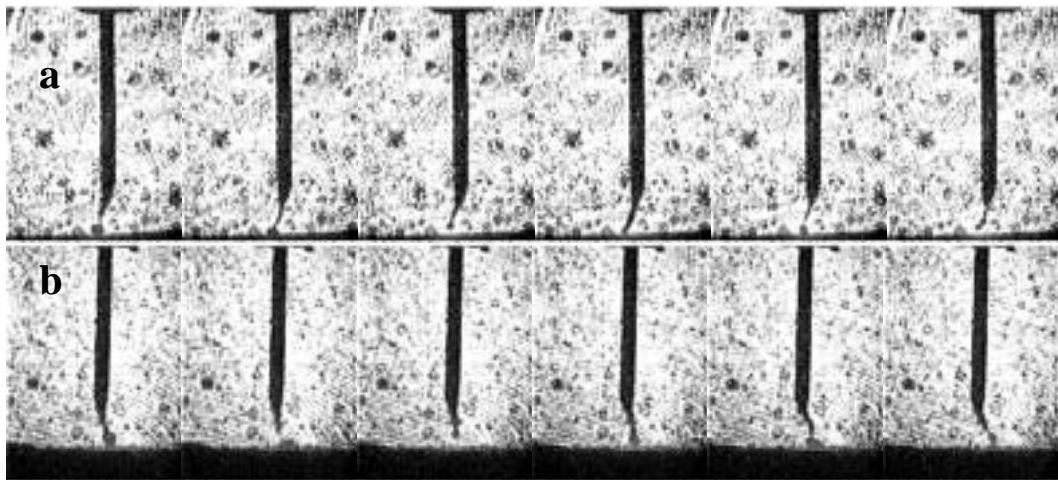


Figura 7 – Transferência goticular com alongamento (arame sólido).

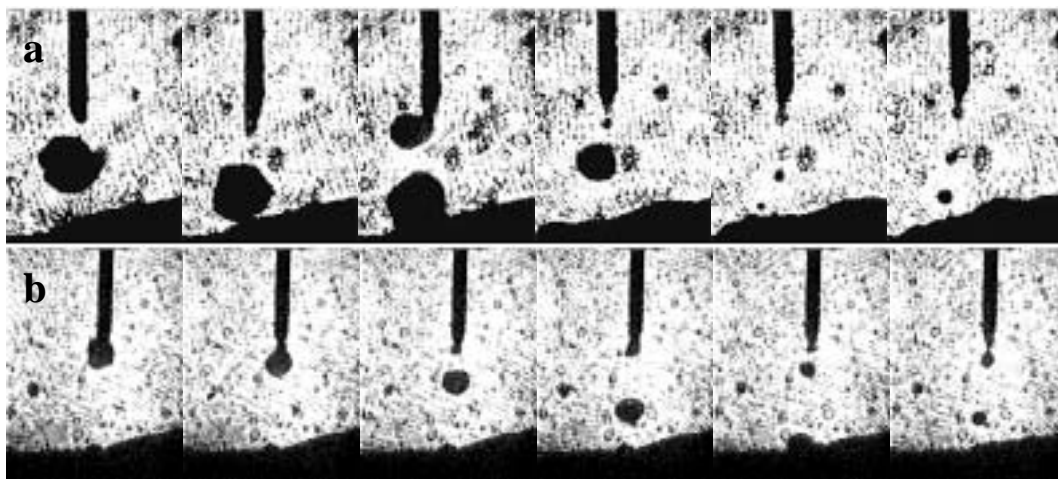


Figura 8 – Transferência mista Globular/Goticular: (a) arame sólido; (b) arame tubular

**Transferência Curto-circuito/Goticular (CC-GT)** – Pela Fig. 9a observa-se a transferência de uma gota em vôo livre e logo em seguida a formação de uma gota maior, a qual toca à poça de fusão. Esse comportamento assemelha-se ao observado no modo misto curto-circuito/globular. No entanto, este modo acontece a um nível de corrente mais elevado, o que proporciona a geração de gotas menores. O mesmo ocorre para o arame tubular (Fig. 9b), no entanto verifica-se a formação de gotas mais finas. Verificando-se o mapa de transferência para o arame tubular (Fig. 2) nota-se que esse tipo de transferência ocorre na fronteira entre as zonas 2 e 3 e que se difere um pouco do que ocorre no mapa para o arame sólido (Fig. 1) levando-se em conta os níveis de tensão, diferindo-se em até 2 V. Tal fato poderá estar correlacionado com uma menor viscosidade do eletrodo tubular fundido, possibilitando esse tipo de formação a níveis mais baixos de tensão, já que para o arame sólido, prevalece o modo curto-circuito nos níveis de tensão observados.

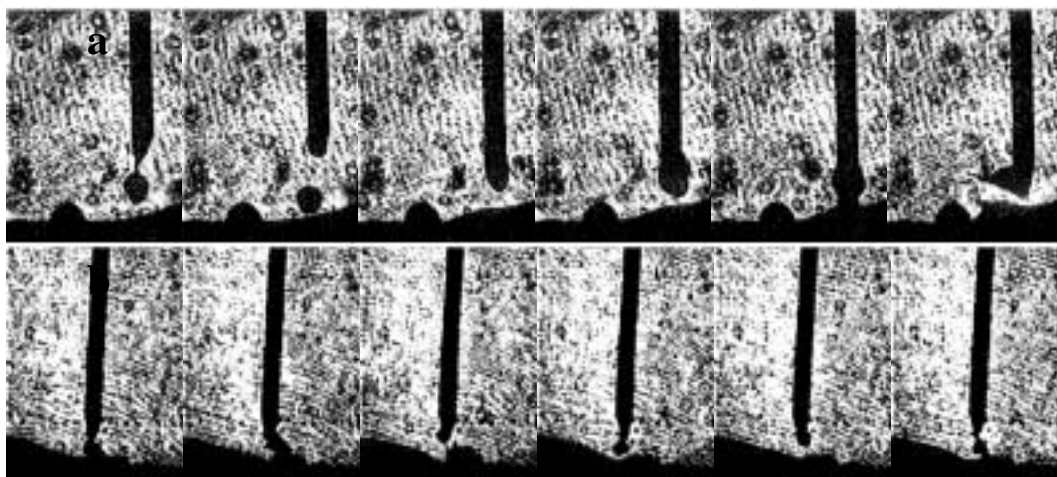


Figura 9 – Transferência mista Curto-circuito/Goticular: (a) arame sólido; (b) arame tubular.

Transferência **Curto-circuito/Goticular com alongamento (CC-GTE)** – nesse modo ocorre a formação de gotas na extremidade do arame eletrodo em diâmetros similares a este ou menores. Devido aos baixos comprimentos de arco, estas gotas tocam a poça de fusão e transferem-se, caracterizando a ocorrência de curto-circuito. Diferente da maioria dos modos de transferência mista em que atua o curto-circuito, aqui estes acontecem a um curto período. Isso poderá estar relacionado com a maior fluidez do metal em transferência e conseqüentemente, menor diâmetro das gotas transferidas, uma vez que este modo está relacionado a valores elevados de corrente. O comportamento se repete para ambos os eletrodos (sólido e tubular).

Transferência **Goticular com alongamento/Goticular (GTE-GT)** – nesse tipo de transferência as gotas geradas são transferidas axialmente a uma alta frequência. Ocorre seqüencialmente a formação de um prolongamento na extremidade livre do eletrodo a qual diminui com o consumo deste eletrodo até um limite mínimo, caracterizando-se nesse momento uma transferência goticular. O nível de corrente deste seqüenciamento de transferência é elevado bem como o nível de tensão, para ambos os eletrodos (Fig. 1 e 2).

Transferência **Goticular com alongamento/Goticular** rotacional (GTE-GTR) – esse modo de transferência acontece em um nível de corrente muito elevado a qual possibilita uma alta taxa de fusão do arame eletrodo, gerando gotas muito finas e a uma alta frequência de transferência. Pode-se observar momentaneamente a formação de um cone prolongado na extremidade livre do eletrodo em seguida uma oscilação deste (pivotamento) (Fig. 10), não havendo, portanto a transferência axial das gotas geradas. Mesmo com os níveis de corrente experimentados para o arame tubular, não foi observada a ocorrência de transferências rotacionais com este eletrodo, apenas com o arame sólido.



Figura 10 – Transferência mista Goticular com alongamento/Goticular rotacioanal.

Durante o levantamento desses modos de transferência verificou-se uma grande incidência de explosões (**EXPL**). Verificou-se que isso ocorre mais freqüentemente para valores mais elevados de corrente. A região pontilhada da Fig. 1 representa a zona em que ocorreram explosões na utilização do arame sólido. Para o arame tubular, ocorreram explosões em praticamente todos os experimentos realizados, é possível que isso ocorra em parte pela queima dos elementos do fluxo, parte pelas interações da gota (composta de metal e fluxo fundidos) com a atmosfera protetora e o

arco voltaico. A Figura 11 apresenta uma dessas explosões em um experimento com arame sólido. O tempo entre os quadros é de 500 microssegundos.

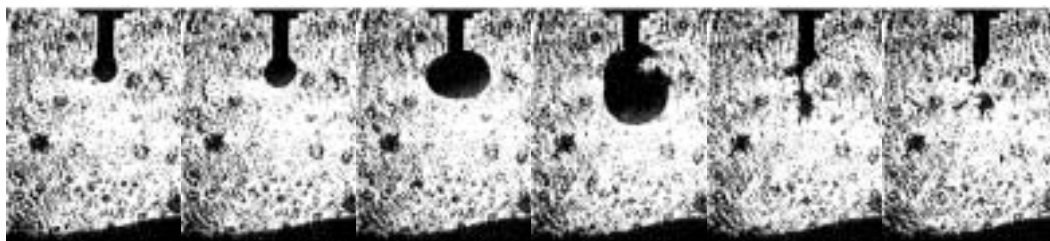


Figura 11 – Incidência de explosão durante a transferência metálica no arame sólido.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A realização das soldagens revelou que os modos de transferência metálica do arame tubular TUBROD 409Ti são bastante semelhantes àqueles apresentados pelo arame sólido ER 309L. O arame tubular apresenta uma melhor operacionalidade com respeito à transferência metálica, uma vez que as zonas do mapa de transferência metálica são mais definidas que as zonas do arame sólido, que apresentou mais modos de transferência, e também mais modos mistos.

Esse estudo mostra, além do que já foi citado, que é possível a observação e classificação dos modos de transferência metálica de um arame tubular utilizando-se a técnica de shadowgrafia, uma vez que a geração de fumos não foi suficientemente grande para que atrapalhasse ou impedisse a aplicação dessa técnica.

#### **5. CONCLUSÕES**

Com relação ao estudo mais detalhado dos modos de transferência metálica de um arame tubular comercial fazendo uma correlação entre os modos observados nesse consumível e os observados na utilização de consumíveis sólidos, pode se concluir que para as condições empregadas neste trabalho:

- o arame tubular apresenta menos modos de transferência que o arame sólido avaliado;
- os modos de transferência metálica do arame tubular são mais bem definidos que os modos de transferência do arame sólido.

#### **6. AGRADECIMENTOS**

Os autores do trabalho agradecem ao Dr. Paulo Bálsamo, da ACESITA S/A, pelo fornecimento do material utilizado nesse trabalho.

Agradece-se também à FEMEC/UFU, ENGESOLDA/UFC e ao CNPq pelo apoio institucional e financeiro para a realização do trabalho.

#### **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Lin, Q.; Li, X.; Simpson, W.: Metal transfer measurements in gas metal arc welding. J. Phys.D: Appl. Phys. 34 (2001) 347-353.
- Maia, T.C.G., 2001, "Processamento de Imagens de Transferência Metálica em Soldagem a Arco Voltaico", Dissertação de Mestrado, Faculdade de Eng. Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia.
- Scotti, A. Clark, D. E.; Kenney, K.: Mapeamento da transferência metálica em MIG com aço inoxidável. XXIV CONSOLDA, Fortaleza, 1998.



- Scotti, A.: Mapping transfer modes for stainless steel gas metal arc welding. Science and Technology of Welding and Joining, Vol. 5, N° 4, 2000.

## **METAL TRANSFER ANALISES COMPARING THE E409Ti (TUBULAR WIRE) WITH THE ER309L (SOLID WIRE)**

**Temístocles de Sousa Luz**

Rua João XXIII, 765 – CEP 38408-056, Santa Maria, Uberlândia-MG, [tsluz@mecanica.ufu.br](mailto:tsluz@mecanica.ufu.br)

**Carlos Eduardo Aguiar Lima Rodrigues**

LAPROSOLDA. Campus Santa Mônica, Bloco 1O, Uberlândia MG. [ceduardo@mecanica.ufu.br](mailto:ceduardo@mecanica.ufu.br)

**Jesualdo Pereira Farias**

ENGESOLDA. Campus do Pici s/n, Bloco 715 Fortaleza, CE. [jpf@truenet-ce.com.br](mailto:jpf@truenet-ce.com.br)

**Valtair Antonio Ferraresi**

LAPROSOLDA. Campus Santa Mônica, Bloco 1O, Uberlândia MG. [valtairf@mecanica.ufu.br](mailto:valtairf@mecanica.ufu.br)

***Abstract:** The knowledge of the metal transfer modes provides a good process control and the automation with more efficiency during the welding. A large set of data is available on the current literature regardless the metal transfer modes in solid GMAW wires. The same amount of data is not available for tubular wires and more detailed identification of transfer modes during the FCAW process is necessary. Thus, the aim of this work was to obtain the metal transfer map of a commercial tubular wire (Tubrod 410Ti) and to compare this map with the one from a commercial solid wire (ER 309L), in order to highlight the differences between the transfer modes of these two processes. A high-speed filming system was employed in addition to a laser head and a set of optical filters to provide the image recording of the electrode, droplets and plate shadows (Shadowgraph or Backlight technique). It was possible to thoroughly assess the metal transfer models of the tubular consumable comparatively to the solid one.*

***Palavras-Chave:** metal transfer, welding, tubular wire*